

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/7: 1357-1369
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

PLANEJAMENTO DO GEOPARQUE GUARITAS – MINAS DO CAMAQUÃ/RS POR MEIO DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DE SATÉLITE E ANÁLISE ESPACIAL DE DADOS DO MEIO FÍSICO

*Planning of Geopark Guaritas - Minas do Camaquã/RS Through Classification Of
Satellite Imagery and Spatial Analysis of Data on physical environment*

**Marina das Graças Perin¹, Elizete Domingues Salvador¹
& Mônica Mazzini Perrotta¹**

**¹Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Superintendência Regional de São Paulo**

Rua Costa, 55 – Cerqueira César, CEP: 01304-010 , São Paulo/SP, Brasil
{marina.perin, elizete.salvador, monica.perrotta}@cprm.gov.br

*Recebido em 21 de Novembro, 2014/ Aceito em 02 de Junho, 2015
Received on November 21, 2014/ Accepted on June 02, 2015*

RESUMO

Neste trabalho a área proposta para a criação do Geoparque Guaritas - Minas do Camaquã (RS) foi avaliada com base na classificação de imagens de satélite e análise espacial dos dados do meio físico, com o intuito de planejar a construção de uma infraestrutura arquitetônica (centro de visitantes, estacionamento, sanitários e oficinas educativas) para atendimento ao turista e ao mesmo tempo preservar os recursos naturais da região. Portanto para alcançar esta meta foram estabelecidas como variáveis: cobertura do solo, declividade, rede de drenagem, malha viária, mancha urbana e geossítios. Para a geração do mapa de cobertura de solo foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto a fim de extrair informações de imagens digitais. Foram utilizadas técnicas de classificação supervisionada pixel a pixel para diferenciar as coberturas do terreno (solo exposto, vegetação, rocha, água), originando um mapa com informações básicas e atuais da área. Os resultados obtidos na classificação da imagem de satélite foram integrados com as demais variáveis num mapa de cobertura de solos em um Sistema de Informações Georreferenciadas. Esses dados foram submetidos a uma análise multicritérios por meio da lógica fuzzy, utilizando diversas funções de acordo com o tipo de dado e o “operador AND”, entretanto, a hipótese pode ser considerada verdadeira se todas as variáveis ocorrerem juntas. Como resultado foi gerado um mapa de favorabilidade, onde notamos que as áreas mais restritivas são as de proteção permanente e as mais favoráveis são aquelas próximas às estradas e geossítios e em áreas de solo exposto.

Palavras Chaves: Sensoriamento Remoto, Lógica Fuzzy, Geoparque, Infraestrutura Arquitetônica.

ABSTRACT

In this work the proposed area for the Geopark Guaritas – Minas de Camaquã (RS) was evaluated based on classification of satellite imagery and spatial analysis from physical environment data, the principal objective is to planning the construction of an architectural infrastructure (visitor center, parking, health and educational workshops) to tourist service and also a form to preserve the region natural resources. Therefore to achieve this goal were established variables like: land cover, slope, drainage network, road network, urban sprawl and geosites. The remote sensing techniques were applied in digital images to generate ground coverage map. These techniques used different filters to highlight the edges

and the texture patterns from orbital image and also a supervised pixel-based classification to delineate the different covers of land (like soil, vegetation, rock, water), resulting in a basic map with all current information of the area. The results obtained in the classification of satellite imagery have been integrated with the other variables in a soil coverage map using a geo-referenced Information System (GIS). All the data were submitted to a fuzzy multi-criteria analysis, using several Fuzzy functions according to the type of data and the “AND operator”, however, the hypothesis can be considered true only if all variables occur together. A Map of Favorability was generated, where the most restricted areas are the permanent protection areas and the most favorable are those close to roads and geosites and exposed soil areas.

Keywords: Remote Sensing, Fuzzy Logic, Geopark, Architectural Infrastructure.

1. INTRODUÇÃO

Geoparque é uma marca atribuída pela Rede Global de Geoparques sob os auspícios da UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) a uma área onde sítios do patrimônio geológico representam parte de um conceito de proteção, educação e desenvolvimento sustentável (SCHOBENHAUS & SILVA 2010).

A partir desta concepção, foi criado no Brasil, em 2006, o Projeto Geoparques do Serviço Geológico do Brasil, por iniciativa da CPRM – Serviço Geológico do Brasil, com o propósito da identificação, levantamento, descrição, diagnóstico e ampla divulgação de áreas com potencial para futuros geoparques, incluindo o inventário e quantificação de geossítios, que representam parte do patrimônio geológico do país (SCHOBENHAUS & SILVA 2012). No escopo deste projeto, diversas propostas já foram avaliadas, outras se encontram em avaliação e outras ainda serão avaliadas em trabalhos

futuros, entre elas o alvo deste estudo, a área do Geoparque Guaritas – Minas de Camaquã no Rio Grande do Sul.

A área proposta do Geoparque Guaritas - Minas de Camaquã ocupa uma extensão de 2.950 km² no centro-sul do Estado do Rio Grande do Sul, abrangendo partes dos municípios de Caçapava do Sul, Santana de Boa Vista, Bagé e Lavras do Sul como mostra a Figura 1. Destaca-se por apresentar uma série de feições geomorfológicas de aparência ruiforme, além de uma grande diversidade de afloramentos rochosos e geoformas que contam a história da evolução geológica da região.

Geossítios são áreas de interesse para o estudo da geologia, destacada sob o ponto de vista científico, didático ou turístico, seja por suas formações geológicas, seu relevo complexo, valor paleontológico ou contribuição para o conhecimento histórico da região.

Nos trabalhos de campo foram inventariados 30 geossítios conforme a descrição na Tabela 1.

O objetivo do presente trabalho é fornecer

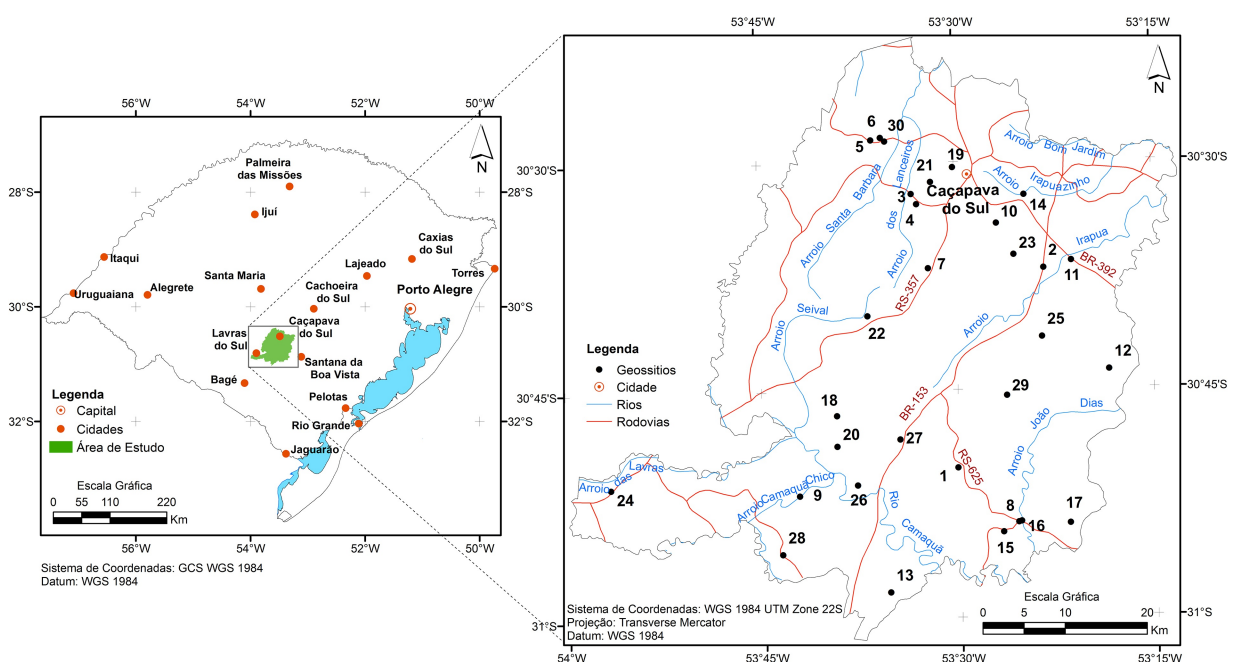


Fig. 1 - Localização da área.

Planejamento do Geoparque Guaritas – Minas do Camaquã/RS por Meio de Classificação de Imagens

informações a fim de auxiliar na escolha de áreas adequadas para construção de uma infraestrutura arquitetônica (centro de visitantes, estacionamentos, sanitários e oficinas educativas) na área de proposição do Geoparque de Guaritas

- Minas do Camaquã, levando em consideração a preservação dos recursos naturais para as gerações futuras, utilizando, para isso, técnicas de sensoriamento remoto e análise espacial dos dados do meio físico.

Tabela 1: Pontos cadastrados na área proposta do geoparque Guaritas - Minas do Camaquã

Nº	Nome	Zona	UTME	UTMN	Altitude	Formação	Grupo	Relevo
1	Pedra das Guaritas	22	260744	6585848	251 m	Varzinha	Guaritas	Morros Testemunhos
2	Cerro da Angélica	22	271068	6610278	345 m	Hilário – Fácies Particulada	Bom Jardim	Morro
3	Pedra do Segredo	22	254914	6619104	203 m	Pedra do Segredo	Santa Bárbara	Morro Testemunho
4	Pedra do Leão	22	255575	6617866	245 m	Pedra do Segredo	Santa Bárbara	Morro Testemunho
5	Cerro do Bugio	22	249988	6625595	140 m	Acampamento Velho	Cerro do Bugio	Morro
6	Cerro do Perau	22	251163	6625934	143 m	Acampamento Velho	Cerro do Bugio	Morro
7	Capão das Galinhas	22	257315	6606879	408 m	Serra dos Lanceiros	Santa Bárbara	Vales encaixados/ Serra
8	Pedra do Engenho	22	268159	6579306	141 m	Santa Fé	Cerro do Bugio	Morro Testemunho
9	Rincão do Inferno	22	242480	6581525	141 m	Serra dos Lanceiros	Santa Bárbara	Cânions/Morro testemunho
10	Cascata do Salso	22	265288	6615637	222 m	Suíte Granítica Caçapava do Sul		Cachoeiras
11	Toca das Carretas	22	274444	6611204	180 m	Varzinha	Guaritas	Caverna
12	Gruta da Varzinha	22	279091	6598003	201 m	Varzinha	Guaritas	Caverna
13	Galpão de Pedra	22	252558	6570634	236 m	Hilário – Fácies Particulada	Bom Jardim	Morro/ Abrigo sob Rocha
14	Caieiras Pedreiras de Calcário	22	268645	6619149	321 m	Unidade Vacacaí – unidade metassedimentar	Complexo Vacacaí	Morro
15	Minas de Camaquã – Cava Uruguai	22	266311	6578088	246 m	Santa Fé	Cerro do Bugio	Morro
16	Morro da Cruz	22	268489	6579406	207 m	Santa Fé	Cerro do Bugio	Morro
17	Pedra Pintada	22	274440	6579232	185 m	Pedra Pintada	Guaritas	Morro testemunho
18	Lava em Corda do Mudador	22	245960	6592074	178 m	Arroio Mudador		Corredeiras
19	Matacões Chácara do Forte	22	259949	6622396	403 m	Suíte Granítica Caçapava do Sul		Morro
20	Cerro Colorado	22	246006	6588349	268 m	Pedra Pintada	Guaritas	Morro
21	Mina do Andrade	22	257264	6620584	394 m	Complexo Metamórfico Vacacaí- Unidade Vulcano Sedimentar		Morro
22	Afloramentos Granja Don Augusto Campo de	22	249650	6604228	340 m	Formação Serra dos Lanceiros	Santa Bárbara	Superfície de Aplainamento
23	Matacões Capela Santo Antônio	22	267424	6611852	391 m	Suíte Granítica Caçapava do Sul		Morro
24	Campo de Matacões Lavras do Sul	22	218445	6582869	402 m	Monzodiorito Arroio dos Jaques	Complexo Intrusivo Lavras do Sul	Morro
25	Pedra Rincão da Guarda Velha	22	270908	6601885	167 m	Varzinha		Morro Testemunho
26	Rincão da Tigra	22	248507	6583638	260 m	Rodeio Velho		Morro
27	Tocas Fazenda São João	22	253674	6589237	229 m	Varzinha		Caverna
28	Toca do Sapateiro	22	239401	6575150	260 m	Arroio Marmeleiro		Caverna
29	Capão do Cedro	22	269069	6593205	280 m	Varzinha		Morro Testemunho
30	Cascata do Pessegueiro	22	251678	6625492	115 m	Acampamento Velho		Cachoeira

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

No planejamento da infraestrutura do Geoparque Guaritas - Minas do Camaquã foram analisadas um conjunto de variáveis: cobertura do solo, declividade, geologia, rios, estradas, mancha urbana e geossítios utilizando lógica *fuzzy* para identificação de áreas adequadas a esse fim.

Para a geração do mapa de uso do solo foi utilizada imagem do satélite Landsat 5 sensor TM, com 6 bandas espectrais nas regiões do visível até o infravermelho de ondas curtas e resolução espacial de 30m, adquiridas gratuitamente no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Foi utilizada a imagem da Órbita 222, Ponto 81, de outubro de 2009 foi escolhida essa imagem por apresentar boas condições de iluminação e pela reduzida quantidade de nuvens na área.

A base digital planimétrica, em escala 1:250.000, foi obtida a partir do site da FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler), instituto responsável pelo licenciamento ambiental do Rio Grande do Sul, vinculada à Secretaria Estadual do Meio Ambiente – SEMA.

Os dados da declividade foram obtidos no site do INPE, gerados por este instituto no Projeto TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, programa Brasil em Relevo, a partir do refino de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), (VALERIANO, 2004).

As informações geológicas em escala 1:750.000 e o limite da área proposta do Geoparque foram fornecidos pela CPRM. As coordenadas dos geossítios foram coletadas em trabalho de campo com aparelho GPS - Global Positioning System.

Todos os dados vetoriais foram previamente padronizados, transformados para o formato raster inteiro (integer) e projetado para um sistema de coordenadas cartesianas, neste caso WGS-84 – UTM – ZONA 22S

2.1 Cobertura do solo

O processamento digital das imagens foi desenvolvido no *software* ENVI[®] versão 5.0.

Constou do pré-processamento dos dados o registro de posicionamento geográfico utilizando-se como base imagens (Geocover2000), e a correção atmosférica pelo método de subtração do pixel escuro (CHAVEZ, 1988) combinado com quebra do histograma para atenuação do efeito de dispersão da energia eletromagnética devido a partículas de vapor d'água, gases e poeira suspensos na atmosfera (PERROTTA, 2005).

Por meio de observação visual utilizando chaves de interpretação (FLORENZANO, 2011) como cor, textura, tamanho, forma, sombra, padrão e localização foram selecionadas amostras de treinamento das classes presentes na imagem para em seguida realizar a classificação supervisionada onde as classes definidas a priori são reconhecidas pelo seu padrão espectral por meio de algoritmos de classificação.




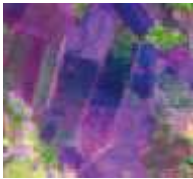





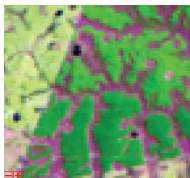








Na Tabela 2 podemos observar alguns exemplos de padrões observados na imagem e comparados com o Google Earth para ajudar na validação da classificação.

Depois de testados os algoritmos Máxima Verossimilhança, Paralelepípedo e Distância de Mahalanobis optou-se pela utilização do Maxver onde um pixel é destinado a classe que tem maior probabilidade de pertencer, neste caso foi o algoritmo que resultou numa melhor definição das classes.

Para a validação dos dados classificados foram realizadas visitas de campo a fim de estabelecer classes de cobertura e uso do solo, com o auxílio de um aparelho GNSS (L1 L2) Modelo Garmin - map 62sc com precisão de até 10m, compatível com a escala de trabalho, foram realizadas observações pontuais e descrições dos padrões de cobertura.

Após a verificação de campo os pontos coletados foram usados como referência para avaliar a exatidão do mapeamento por meio de uma matriz de confusão chamada Índice *Kappa* no qual é testada a acurácia entre a classificação e a realidade. O valor obtido pelo coeficiente *Kappa* para este mapa foi de 0,7 conforme mostra a Tabela 3, considerado pela literatura como muito bom (LANDIS & KOCH, 1977).

Tabela 2: Padrões observados nas imagens composição 5R4G3b, em comparação ao *Google Earth* e fotografias

Objeto			Padrões de interpretação
Água			
			Cor azul (material em suspensão); cor preta (água limpa); textura lisa; forma irregular, linear retilínea ou curva para rios e arroios.
Composição colorida Landsat5	Imagem <i>Google™ Earth</i>	Fonte: Foto da autora	
Agricultura/pastagem/solo exposto			
			A cor magenta tendendo ao branco; textura lisa; formato regular; ou cor verde; textura lisa; forma irregular.
Composição colorida Landsat5	Imagem <i>Google™ Earth</i>	Fonte: Foto da autora	
Mata ciliar			
			Cor verde; textura rugosa; forma irregular; marca as drenagens.
Composição colorida Landsat5	Imagem <i>Google™ Earth</i>	Fonte: Foto da autora	
Reflorestamento			
			Cor verde escuro (reflorestamento adulto); textura lisa; formato regular (talhões grandes); presença de carregadores/caminhos.
Composição colorida Landsat5	Imagem <i>Google™ Earth</i>	Fonte: Foto da autora	
Mancha urbana			
			Cor magenta (rosa); textura ligeiramente rugosa; forma irregular; localizada próxima a rodovias.
Composição colorida Landsat5	Imagem <i>Google™ Earth</i>	Fonte: Foto da autora	
Morros			
			Cor magenta; textura ligeiramente rugosa; forma regular.
Composição colorida Landsat5	Imagem <i>Google™ Earth</i>	Fonte: Foto da autora	

O mapa final foi dividido em seis categorias: água; agricultura/pastagem/solo exposto, mata ciliar, reflorestamento, mancha urbana e morros de rocha exposta conforme apresentado na Figura 2.

Tabela 3: Resultado da avaliação da classificação

Classes\ Amostras	Água	Agricultura	Pastagem	Solo exposto	Mata ciliar	Reflorestamento	Mancha urbana	Morros
Matriz de Confusão (%)								
Água	98,44	0	0	0	0	0,08	0,32	0,16
Agricultura	0	92,51	1,7	1,37	1,99	1,00	0	0
Pastagem	0	1,7	92,87	1,74	0	0	0,07	0,60
Solo exposto	0	1,37	1,74	95,37	0,19	0	0,07	0,89
Mata ciliar	0	1,99	0	0,19	93,47	1,25	0	0
Reflorestamento	0,08	1,00	0	0	1,25	97,75	0	0
Mancha urbana	0,32	0	0,07	0,07	0	0	96,62	0,24
Morros	0,16	0	0,60	0,89	0	0	0,24	96,51
Total								
Acurácia	75,01%							
<i>Kappa</i>	0,711							

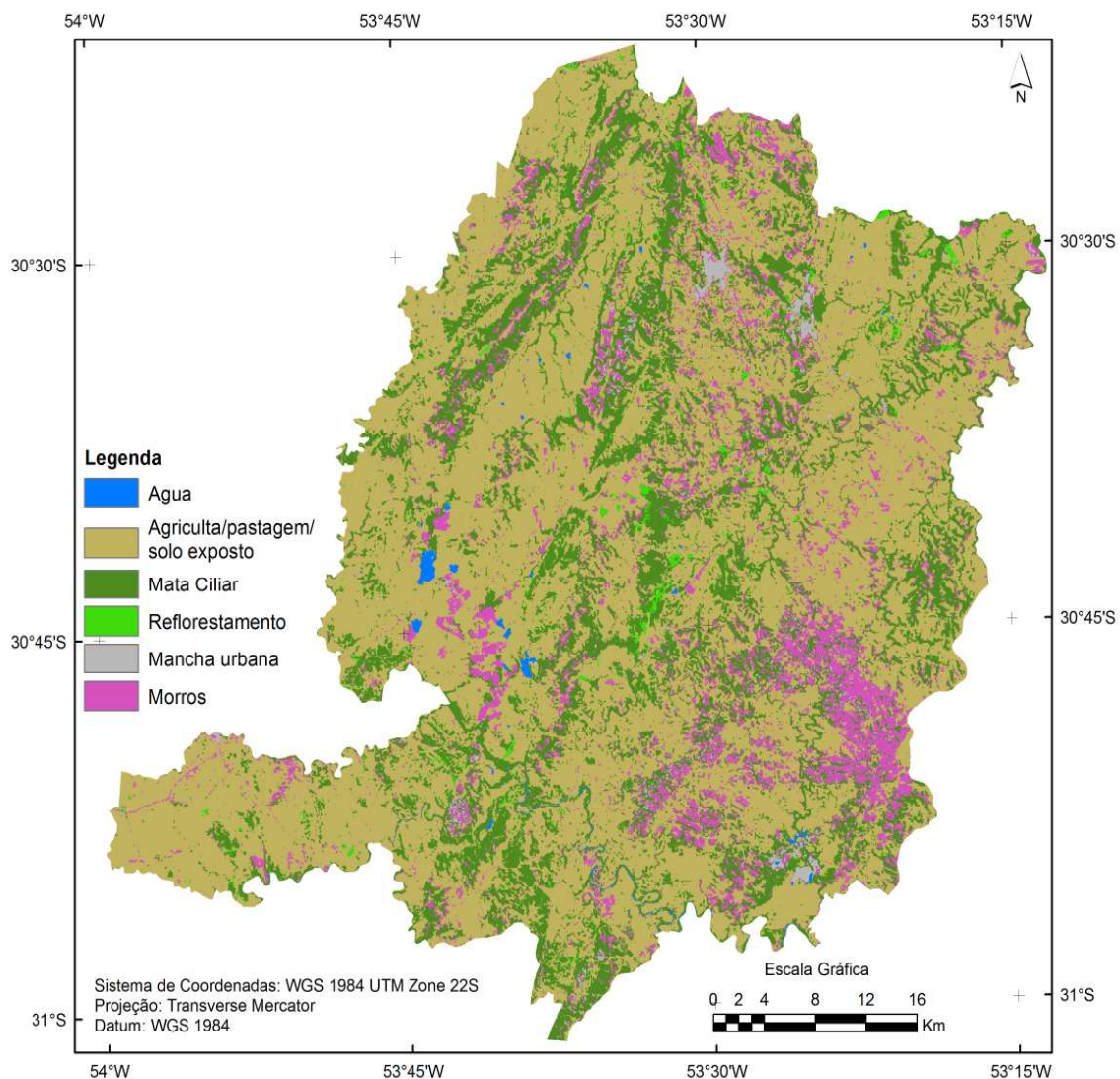


Fig. 2 - Mapa de uso do solo. Fonte: Elaborado pela autora.

2.2 Declividade

A declividade segundo definição de Valeriano (2008) é a inclinação do terreno em relação ao plano horizontal, isto é, a taxa máxima de variação medida em graus (0 a 90°) ou em porcentagem (%). Áreas com declividades elevadas, juntamente com outros fatores agravam o problema de erosão do solo.

A área do geoparque pertence a quatro municípios (Bagé, Santana de Boa Vista, Lavras do Sul e Caçapava do Sul). No plano diretor da cidade de Lavras do Sul a Seção II, Art. 81, que trata do uso, ocupação e parcelamento do solo das áreas consideradas de interesse à preservação do meio ambiente, diz no item sobre declividade que áreas com declividade igual ou superior a 40% não poderão ser ocupadas; áreas com declividade igual ou superior a 30% só poderão ser urbanizadas quando comprovada viabilidade técnica; áreas com matas nativas ou outras formas de vegetação e com declividade superior a 45° não poderão ser ocupadas ou ter sua vegetação removida. Nos planos diretores dos outros municípios a que pertence o parque não é citada qualquer restrição quanto à declividade.

Conforme o capítulo II, seção I, artigo 4, inciso 5 do código florestal brasileiro, encostas ou partes destas, com declividades superiores a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive são consideradas Áreas de Preservação Permanente.

Pela lei Lehmann – lei 6766-79 é proibido parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas exigências específicas das autoridades competentes. Desta forma, considerando as leis municipais, estaduais e federais foi estabelecido que a infraestrutura arquitetônica do parque não deveria ser construída em locais com declividade igual ou maior que 30% conforme a lei Lehmann que é a mais restritiva neste caso.

Considerando as leis municipais, estaduais e federais foi estabelecido que a infraestrutura arquitetônica do parque não deve ser construída em locais com declividade igual ou maior que 30% conforme a lei Lehmann que é a mais restritiva neste caso.

2.3 Geologia

O Geoparque Guaritas - Minas do Camaquã é delimitado por uma área de grande complexidade geológica, num contexto tectônico

de relativa estabilidade; esta área, com extensão regional, consiste de um planalto dissecado, compreendendo um conjunto de ondulações cujo nível mais alto não ultrapassa 500 metros. Nesta porção do território gaúcho afloram rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, cujos tipos litológicos foram, no presente estudo, agrupados segundo a composição químico-mineralógica, considerando que tais litotipos, sob condições morfoclimáticas pretéritas prevalentes na região, produziram solos arenosos, areno-argilosos, argilosos e argilo-arenosos.

As principais unidades geológico-estratigráficas às quais se associam os tipos de solos produzidos na área são assim discriminadas (CPRM, 2000; TONIOLO *et al.*, 2007; JANEKIAN *et al.*, 2003 e WILDNER *et al.*, 2008): Depósitos Aluvionares; Coberturas Fanerozóicas (Bacia do Paraná e Formação Santa Tecla; Suíte Intrusiva Rodeio Velho (subvulcânicas básicas e intermediárias); Grupo Guaritas (depósitos eólicos e aluviais); Grupo Santa Bárbara (depósitos aluviais e costeiros); Formação Acampamento Velho (subvulcânicas básicas e intermediárias); Grupo Bom Jardim (depósitos aluviais e lacustres/vulcânicas intermediárias e básicas); Grupo Maricá (depósitos siliciclásticos marinhos e fluviais); Embasamento Cristalino (constituído por complexos granítico-gnáissico, complexos granulíticos e granitos milonitizados).

Conforme a composição químico-mineralógica do protólito e conseqüente evolução produzindo saprólitos e solos, foram agrupadas categorias de rochas considerando a natureza dos solos produzidos, se arenosos ou argilosos (pelíticos) e a sua caracterização genética, se ígnea, sedimentar ou metamórfica. As categorias das rochas identificadas neste estudo se distribuem conforme mostra a Figura 3 em cinco categorias: categoria 1 - sedimentos areno-siltico-argilosos depositados nas planícies aluviais de cursos de águas atuais; categoria 2 - metassedimentares, produzindo principalmente solos arenosos, argilosos, areno-argilosos e argilo-arenosos; categoria 3 - corpos granitoides, rochas ígneas ácidas e intermediárias, produzindo solos principalmente arenosos; categoria 4 - sedimentares representadas por arenitos, siltitos e categoria 5 - reunindo rochas básicas, metabásicas, ultramáficas, folhelhos, xistos, que geram solos essencialmente argilosos.

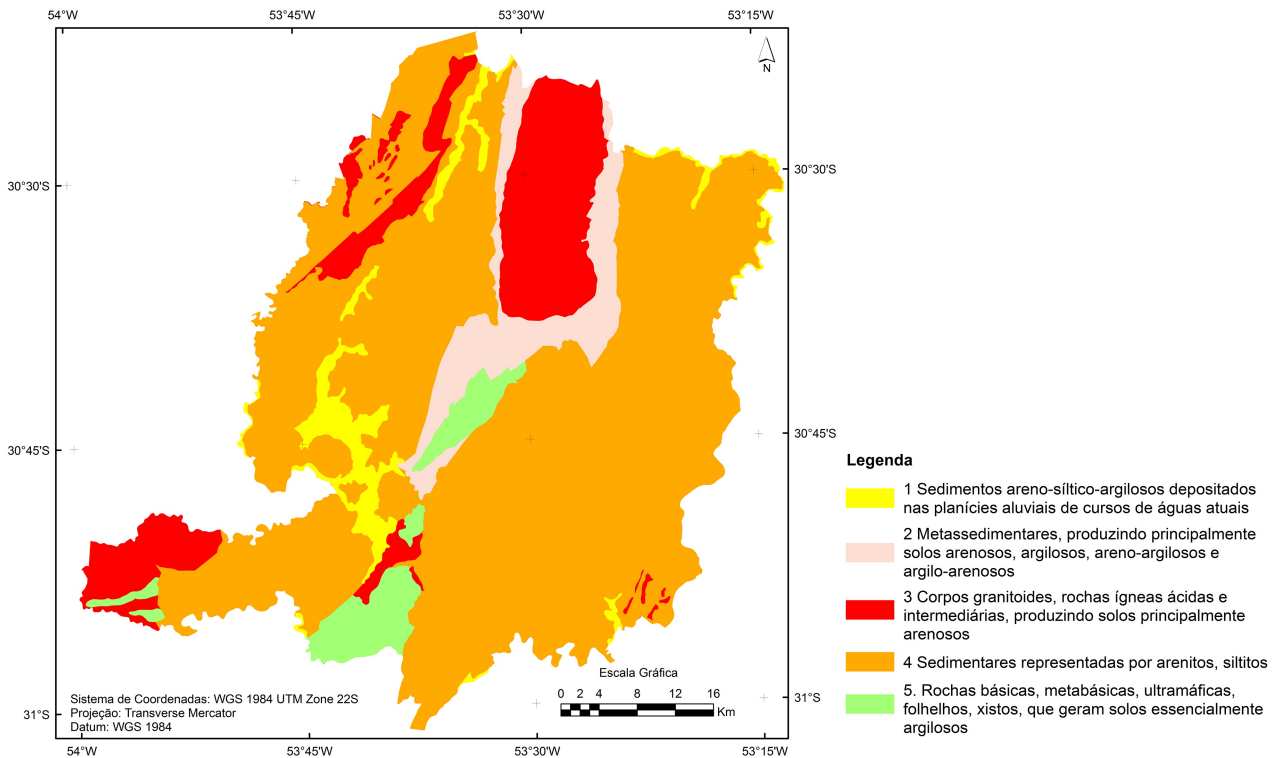


Fig. 3 - Mapa de geologia simplificado e adaptado a partir do mapa da CPRM (Wildner *et al.*, 2008).

2.4 Rios, estradas, mancha urbana e geossítios

Para a análise fuzzy foram analisadas as distâncias dos rios, estradas, mancha urbana e geossítios, levando em consideração as leis ambientais e visando o mínimo impacto ambiental na área.

Na análise de distâncias dos rios, considerou-se o capítulo II, seção I, artigo 4º, inciso I, alínea c do código florestal brasileiro, definindo-se, para fins deste estudo, como inadequadas distâncias menores que 100 metros da rede de drenagem, já que foi identificado o rio Camaquã, o maior da região, com largura variando de 25 a 90m.

Com relação à distância das estradas a fim de evitar um impacto ambiental mais acentuado consideraram-se adequadas áreas mais próximas às estradas já existentes, facilitando o acesso, combinadas com áreas mais próximas aos locais de interesse de visitação, no caso os geossítios.

Quanto à variável distância da área urbana, foi considerado que as mesmas já possuem infraestrutura para atender ao turista, portanto o foco seriam áreas mais distantes dos centros urbanos.

2.5 Lógica Fuzzy

A lógica Fuzzy foi idealizada por Lotfi A. Zadeh, na universidade da Califórnia em

1965 quando recebeu esse nome, e é baseada na teoria dos Conjuntos Nebulosos, ou Fuzzy Set, que presume que cada elemento possa manter pertinência parcial a determinados conjuntos. Desta forma, a pertinência fuzzy reflete o “grau de verdade” de uma proposta ou hipótese, com valores distribuídos em uma faixa contínua entre 0 (falso) e 1 (verdadeiro).

Apesar do objetivo do trabalho ser a definição de áreas que podem ser destinadas a implantação de infraestrutura, é necessário garantir que: (1) essas áreas estejam livres de restrições ambientais, (2) estejam localizadas próximas às estradas e geossítios, (3) apresentem declividade pouco acentuada, (4) ausência de cobertura vegetal e (5) que o solo seja resistente a processos erosivos. Essas variáveis foram submetidas a uma análise multicritérios por meio da lógica fuzzy.

Onde são atribuídos valores de formas distintas para dados categóricos e dados ordenados. Nos dados categóricos a pertinência é atribuída subjetivamente pelo especialista a partir do conhecimento prévio do modelo da área. Nos dados ordenados a pertinência é calculada com base em parâmetros de entrada definidos pelo analista através de funções matemáticas pré-estabelecidas que representem

a relação do mapa evidencial com o modelo em questão (GONÇAVES & SALVADOR, 2012).

2.6 Funções Fuzzy

As Funções Fuzzy podem ser dos seguintes tipos:

- Linear, que distribui os valores de pertinência baseados em transformação linear entre valores mínimos (0) e máximos (1), podendo ser crescente ou decrescente, não aplicada a valores negativos;
- Small, onde os menores valores são os mais correlacionáveis ao objeto. Como parâmetros de entrada define-se o ponto médio, a que será atribuído o valor de 0.5 de pertinência, de onde os valores crescem ou decrescem. O valor de espalhamento, variando de 0 a 10, controla a declividade da curva, sendo que quanto maior o valor, maior a declividade;
- Large, Nesta função os maiores valores são os mais correlacionáveis ao objeto pesquisado, ou seja, a eles são atribuídos as maiores pertinências fuzzy. Como na função Small, os parâmetros de entrada a serem definidos são ponto médio e espalhamento onde os maiores valores de pertinência serão atribuídos aos maiores valores de entrada;
- (MS) Large e (MS) Small, dependendo dos dados de entrada os resultados podem ser semelhantes às funções Large e Small, normalmente aplicada quando os valores buscados são os muito altos (MSLarge) ou muito baixos (MSSmall);

Operador “E” (AND): equivalente ao operador “E” Booleano, onde, nos mapas de saída constarão os menores valores de cada mapa evidencial (Fuzzy Membership), célula a célula. Empregado onde duas ou mais evidências devem ocorrer juntas para tornar uma hipótese verdadeira.

Operador “OU” (OR): equivalente ao operador “OU” Booleano, onde, os mapas de saída serão controlados pelos maiores valores dos mapas evidenciais para cada célula. Empregado ou qualquer uma das evidências investigadas é suficiente para confirmar uma hipótese verdadeira.

Operador “PRODUTO” (PRODUCT): promove a multiplicação, pixel a pixel, dos

mapas evidenciais processados. Os valores obtidos com este operador tendem a ser muito baixos, devido ao efeito multiplicador de vários valores menores que 1.

Operador “SOMA” (SUM): operador complementar ao PRODUTO. O resultado é sempre maior ou igual ao maior valor da análise pixel a pixel.

Operador GAMMA: definido pela combinação de fuzzy SOMA e Fuzzy PRODUTO, a partir de um ponderador γ , entre 0 e 1. Quando γ é 1, o resultado ser igual ao resultado do operador SOMA, quando γ é 0, o resultado será igual ao do operador PRODUTO.

Para a aplicação da Lógica Fuzzy foi utilizado o software ArcGIS e as extensões Geostatistical Analyst e Spatial Analyst. Todos os dados vetoriais foram previamente padronizados, transformados para o formato raster inteiro (integer) e projetado para um sistema de coordenadas cartesianas para que os cálculos sejam feitos da maneira correta.

2.6.1 Cobertura do solo

O mapa de uso do solo foi classificado em seis categorias: água; agricultura/pastagem/solo exposto, tendo sido considerado solo exposto áreas com ausência de vegetação; mata ciliar; reflorestamento; mancha urbana; e morros de rocha exposta. A água foi considerada como a categoria mais restritiva, com valor 0, e a agricultura/pastagem/solo exposto, como o mais indicado, com valor de pertinência 1. Nesta avaliação foi utilizada a função Large onde os maiores valores de pertinência são atribuídos aos maiores valores de entrada.

2.6.2 Declividade

Na avaliação da variável declividade, atribuiu-se aos menores valores o maior grau de pertinência, utilizando-se a função Small, indicando que as áreas de maior adequação são aquelas de menor declividade.

2.6.3 Geologia

As unidades geológicas foram definidas nas classes anteriormente descritas no item 2.3, e reescalados por valores categóricos de fragilidade, distribuídos entre 0 e 1.

Estes valores foram distribuídos segundo

uma função linear crescente. Foi atribuído valor 0 a categoria 1; 0,25 a categoria 2; 0,5 a categoria 3; 0,75 a categoria 4 e valor 1 a categoria 5.

2.6.4 Rede de Drenagens

A partir da rede de drenagem foram construídos mapas de buffers de distância, utilizando o cálculo da distância euclidiana de cada célula para o objeto mais próximo. Estes dados foram reclassificados em intervalos de distância de 100 em 100m. Na análise empregou-se a função Large, onde os maiores valores de distância estão relacionados às áreas mais favoráveis a implantação da infraestrutura arquitetônica.

2.6.5 Estradas

Buffers de distância foram construídos a partir dos arquivos vetoriais da malha viária, reclassificados para os intervalos definidos de 100 em 100m. Utilizou-se a função Small, relacionando-se os maiores valores de distância como os menos favoráveis à implantação da infraestrutura arquitetônica.

2.6.6 Mancha urbana

O arquivo vetorial das manchas urbanas na região do geoparque foi transformado em um raster com buffer de distâncias euclidianas, reclassificados para valores de 0 a 255.

Através da função Large, os maiores valores de entrada foram atribuídos aos maiores valores de pertinência, uma vez que a necessidade de infraestrutura para atendimento à turistas faz-se necessária em locais mais distantes dos centros urbanos, considerando que a sede municipal já possui elementos adequados para prestar este atendimento.

2.6.7 Geossítios

O arquivo vetorial dos sítios de interesse geológico do geoparque foi transformado em um raster com buffer de distâncias euclidianas, e reclassificados pelo valor do pixel de 0 a 255. Foram considerados como mais indicados para construção da infraestrutura os locais de menores distâncias dos pontos de interesse de visita para o turista.

Na análise dos geossítios foi utilizada a

função Small para aplicação da lógica Fuzzy, uma vez que os maiores valores de distância foram considerados como os menos favoráveis à implantação da infraestrutura arquitetônica.

2.7. Operadores Fuzzy

Após a distribuição das pertinências fuzzy nos mapas das variáveis consideradas neste trabalho, estes dados foram combinados por meio de operadores fuzzy.

Após a realização de diversos testes, optou-se integrar as variáveis por meio do operador FUZZY AND por ser o mais restritivo, onde todas as variáveis são importantes e devem ocorrer juntas para que a área seja considerada favorável para a construção de qualquer tipo de infraestrutura.

3. RESULTADOS

Desta forma gerou-se o mapa de favorabilidade apresentado na Figura 4.

A leitura do mapa de favorabilidade a implantação de infraestrutura, gerado a partir da Lógica Fuzzy, analisando as variáveis uso do solo, declividade, rede de drenagem, malha viária, mancha urbana e geossítios, apresentado na Figura 4 mostra um degrade indo do verde para o vermelho, estando representadas na cor verde as áreas mais favoráveis, passando pelo amarelo, laranja e finalmente na cor vermelha áreas mais restritivas.

A análise permite notar que as regiões mais restritivas para construção no parque correspondem a áreas de proteção permanente (mata ciliar nos entornos dos rios ocupando área de no mínimo 100 m das margens), áreas com declividades mais elevadas de relevo forte ondulado (20 a 45°) a montanhoso e escarpado (> 45°), depósitos aluviais, áreas muito próximas à mancha urbana (distante no mínimo 1 km) e mais distante das estradas e geossítios.

As áreas mais favoráveis são aquelas mais próximas às estradas e geossítios (distâncias menores que 1 km), com solo exposto e derivado de rochas básicas, ultrabásicas-máficas, folhelho, xistos e argilitos como a formação Arroio Marmeleiro, além de mais distantes dos rios e mancha urbana; e com declividades mais baixas de relevo plano (zero a 3°) a suave ondulado (3 a 8°).

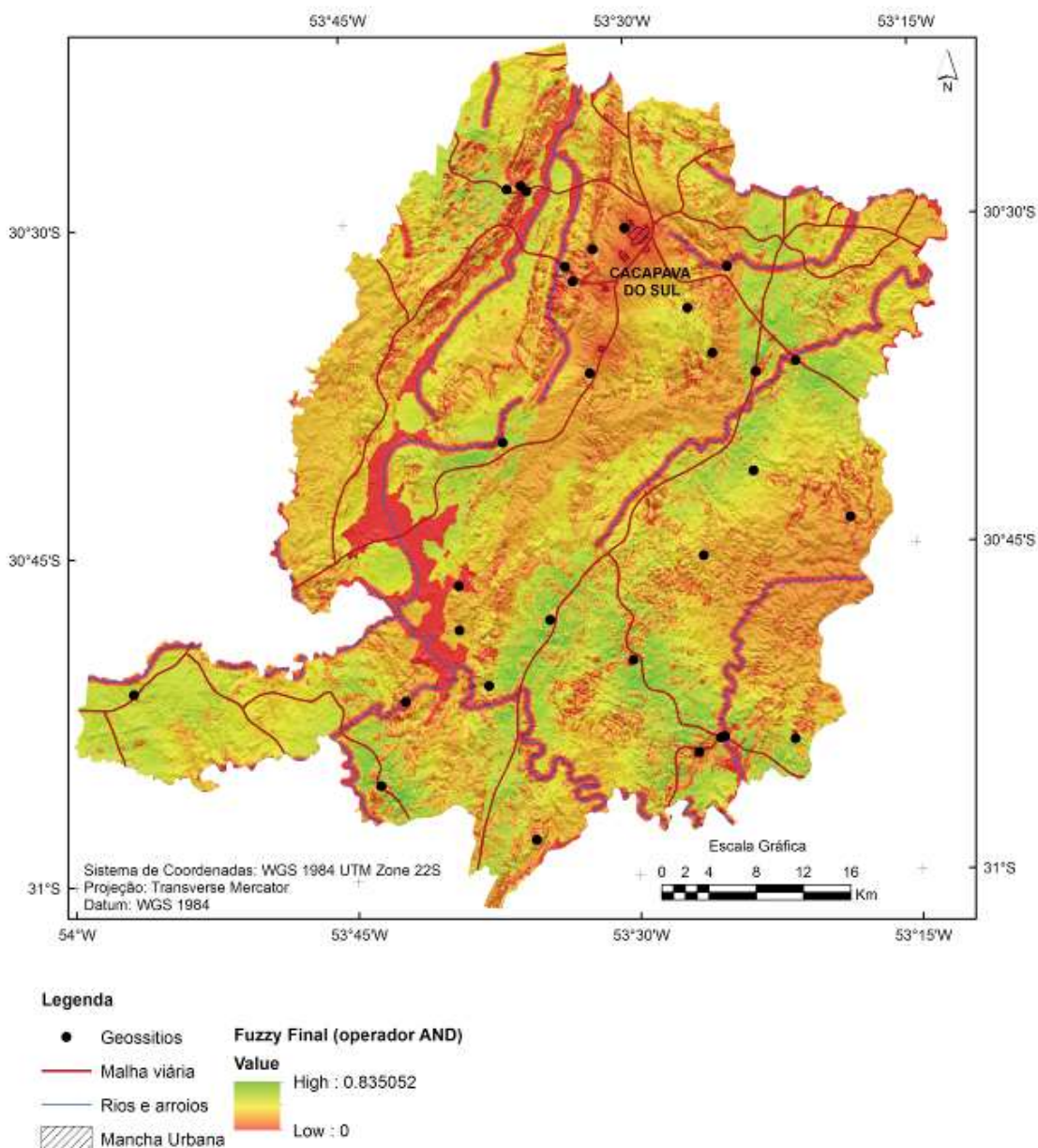


Fig. 4 - Mapa de favorabilidade a implantação de infraestrutura, utilizando lógica Fuzzy com as funções Small, Large e Linear e o operador AND. Fonte: Elaborado pela autora.

4. CONCLUSÕES

Concluiu-se que as ferramentas de sensoriamento remoto para classificação de imagens possibilitaram a separação de diferentes tipos de usos do solo e, com apenas duas visitas a campo foi possível confirmar as classes, reduzindo assim os custos e tornando mais rápida a elaboração do mapa de uso do solo.

A lógica fuzzy se mostrou eficiente na análise aqui realizada, permitindo a avaliação dos espaços geográficos de forma contínua e não através de limites rígidos, oferecendo uma maior flexibilidade na tomada de decisões.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e análise espacial de dados em ambiente SIG possibilitou a avaliação integrada de uma grande quantidade de dados espaciais. Como resultado, obteve-se, de forma rápida, eficiente e precisa, um mapa que reflete as diferentes características dos terrenos que compõem a área, facilitando a análise para a detecção de locais favoráveis à construção de infraestrutura arquitetônica de atendimento ao turista na área da proposta do Geoparque Guaritas - Minas do Camaquã, com o menor dano possível às áreas preservadas da região.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Centro Universitário SENAC e a CPRM – Serviço Geológico do Brasil pelo apoio fundamental para viabilização do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, **Lei n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. DOU de 20.12.1979. 14p.

BRASIL, **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. DOU de 28.5.2012. 32p.

BRASIL, RIO GRANDE DO SUL, LAVRAS DO SUL, **Lei municipal 3.074, de 19 de outubro de 2010**. Dispõe sobre o Plano Diretor do Município de Lavras do Sul, que ordena o Território e as políticas setoriais e dá outras providências. 46p.

CHAVEZ Jr., P. S. An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering correction of Multispectral Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.

CPRM. **Carta geológica Pedro Osório**. Escala 1:250.000. Porto Alegre. CPRM. 2000.

ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. ArcGIS. Sistema de Informação Geográfica para área de trabalho de computador, versão 10.2.0.3348 2013.

EXCELIS - VIS - Visual Information Solutions. ENVI 5.1. Attn: Webmaster, 4990 Pearl East Circle, Boulder, CO 80301, USA.

FONSECA, D. de S. R.; CLEMENTE, C. M. S.; REIS, D. de C.; CARDOSO, T. de R., MELO, W. J. de; FRANÇA, M. A.; Estatística Experimental Aplicada na Avaliação da Eficiência de Métodos Baseados em Classificação Supervisionada de Imagens. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, nº 66/3, 2014, p. 537-544.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128p.

GOOGLE EARTH. Programa de mapas para visualização da superfície terrestre. Versão:

7.1.4.1529, de 30/03/2015. 2015. Disponível em: <<http://www.google.com/earth/>>.

GONÇAVES, J. H. & SALVADOR E. D. Trabalhando com Ferramenta SIG na Prospecção Mineral – Teoria FUZZY (apostila de curso). In: V Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, 2012, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ADIMB, 2012. 21p.

JANIKIAN, L.; ALMEIDAR. P. de; FRAGOSO-CESAR, A. R. S. & FAMBRINI, G. L. Redefinição do Grupo Bom Jardim (Neoproterozóico III) em sua área-tipo: litoestratigrafia, evolução paleoambiental e contexto tectônico. **Revista Brasileira de Geociências**. p. 349-362, 2003.

LANDIS, J.R. & KOCH, G.G. The measurement of observer agrément for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n.1, p. 159-74. 721 p.

NEGRI, R. G. & FILHO, C. A. P. de C. AT-SOM: Mapas Auto-organizáveis Atenuantes. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, nº 64 (5), 2012, p. 589-599.

OLIVEIRA, F. B. de; OLIVEIRA, C. H. R. de; LIMA, J. S. de S.; FILHO, R. B. R.; MIRANDA, M. R.; NEVES, L. Z. & FERRAZ, F. Aplicação de Geoprocessamento e Lógica Fuzzy para Criação de Zoneamento no Parque Estadual da Cacheira da Fumaça/ES para Fins de Conservação. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, nº 66/3, 2014, p. 545-554.

PRADO, F. de A., & GALO, M. de L. B. T., Classificação de Imagens Multiespectrais Baseada em Abordagem Fuzzy. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, nº 61 (3), 2009, p. 233-244.

PERROTTA, M. M. **Processamento Digital Básico de Imagens de Sensores Remotos Ópticos para Uso em Mapeamento Geológico**. Tutorial ENVI. Divisão de Sensoriamento Remoto, CPRM. 2005. 40p.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. 73p.

SCHOBENHAUS, C. & SILVA C. R. **O Papel Indutor do Serviço Geológico do Brasil na Criação de Geoparques**. 1. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2010, 23 p.

SCHOBENHAUS, C. & SILVA C. R. **Geoparques do Brasil: Propostas**. 1. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2012, 748 p.

TONIOLO, J. A.; GIL, A. A. & SANDER, A. **Metalogenia das Bacias Neoproterozóico-Eopaleozóicas do Sul do Brasil: Bacia do**

Camaquã. Porto Alegre: CPRM, 2007. 154p.

WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. C.; IGLESIAS, C. M. F. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2008. 1 DVD. Escala 1:750.000.